

носящиеся к объекту, и параметры, относящиеся к экономическому окружению данного объекта.

Параметры, относящиеся к объекту: электрическая мощность блока, (нетто); КПД (нетто); капитальные затраты на сооружение блока ПГУ; затраты на ремонтно-техническое обслуживание объекта; затраты на заработную плату персонала; затраты на потребляемую воду, смазочные масла, химические реагенты и прочее. Анализ вышеперечисленных параметров показывает, что если перейти к удельным затратам на РТО, воду, смазочное масло, химическим реагентам и прочее, то их в рамках рассмотрения ПГУ на базе ГТУ одного класса можно принять постоянными. Таким образом, переход к рассмотрению блока в «удельных показателях» оставляет только два основных параметра для КПД (нетто) и удельные капитальные затраты на сооружение блока ПГУ.

Параметрами, относящимися к экономическому окружению данного объекта, являются: стоимость топлива; тариф на электроэнергию; тариф на электрическую мощность. Данные параметры постоянны в рамках одной зоны расположения объекта. Для рассматриваемого примера (регион Центр) стоимость топливного газа, цена на электроэнергию и цена на мощность и их изменение в горизонте 2010-2030 приняты по [2].

Таким образом, варьируя КПД нетто от 45 % до 60 % и удельные капитальные вложения от 20 тыс. руб./кВт до 55 тыс. руб./кВт, рассчитываем в программе «Альт-Инвест» удельные показатели экономического эффекта, аппроксимируя которые, получаем уравнение для удельного экономического эффекта (ЧДД – чистый дисконтированный доход) блока ПГУ на базе ГТУ 5-го поколения для региона Центр.

$$Z = A + B \cdot x + C/y + D(x^2) + E/(y^2) + F(x/y) + G(x^3) + H/(y^3) + I(x/y^2) + J(x^2/y),$$

где  $Z$  – удельный ЧДД к 22-му году эксплуатации, тыс. руб./кВт;  $x$  – удельные капитальные затраты, тыс. руб./кВт;  $y$  – КПД блока ПГУ, % нетто; коэффициенты:  $A = 268,1724$ ;  $B = -0,8559$ ;  $C = -4873,5191$ ;  $D = -0,0001$ ;  $E = 2168,7887$ ;  $F = 0,54478$ ;  $G = 0,4525 \cdot 10^{-6}$ ;  $H = -33248,491$ ;  $I = -23,1770$ ;  $J = -0,0026$ .

С помощью данного уравнения можно получать полные значения ЧДД блока ПГУ без непосредственного обращения к программе экономического расчета при создании оптимизационных программ и алгоритмов.

#### *Библиографический список*

1. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. М.: Изд. дом МЭИ, 2011.
2. Сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года. М.: Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике, 2012.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОХЛАЖДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ДСП**

*Соколова Д.С., Демин Ю.К., Матвеев С.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
darushka1210@yandex.ru*

По сообщению всемирной ассоциации стали годовая выплавка электро- стали составляет 490 млн тонн и имеет устойчивую тенденцию к росту [1]. При

этом работа дуговой сталеплавильной печи (ДСП) не возможна без системы водяного охлаждения.

Температура охлаждающей воды в панелях печи на верхней границе не превышает 100 °С. При этом во время плавки выделяется порядка 50 МДж теплоты с каждой тонны стали, которая в настоящее время практически полностью теряется.

В данной работе ставится задача энергосбережения путем наиболее эффективного использования теплоты плавки и уменьшения объема циркуляции теплоносителя. Решением этой задачи может стать применение иного (отличного от воды) теплоносителя, работающего в более высоких интервалах температур. Для выбора теплоносителя необходимо сформулировать критерии отбора.

При кипении теплоносителя коэффициент теплоотдачи уменьшается на порядок, поэтому основным критерием, предъявляемым к теплоносителю, будет высокая температура кипения (выше либо равна 1083 °С – температура плавления материала панелей ДСП [2]). Для сокращения объемов циркуляции максимально возможный теплоперепад теплоносителя должен быть больше максимального теплоперепада воды. Для оценки последнего условия введем коэффициент  $k$ :

$$k = \frac{\Delta q_{\text{теплоносителя}}^{\text{max}}}{\Delta q_{\text{воды}}^{\text{max}}} = \frac{c_{\text{теплоносителя}} \cdot (1083 \text{ °С} - t_{\text{плавления теплоносителя}})}{c_{\text{воды}} \cdot (100 \text{ °С} - 0 \text{ °С})} \quad (1)$$

Учитывая эти требования, был произведен отбор теплоносителей (таблица).

Характеристика теплоносителей [3]

Теплоносители	$T_{\text{плавл}}, \text{°С}$	$T_{\text{кип}}, \text{°С}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м·К)}$	$c_p, \text{кДж/(кг·К)}$	$k$
Литий	181	1336	476	48	4,513	9,72
Свинец	327	1737	10325	16	0,147	0,27
Галлий	30	1983	6708	38	0,419	1,05
Олово	232	2270	6729	37	0,255	0,52
Висмут	271	1477	9660	17	0,151	0,29
Сплав С-13	125	1670	10000	16	0,146	0,33

Как видно из таблицы, наиболее подходящими являются литий, галлий и олово.

После нагревания теплоносители можно направить для выработки пара и дальнейшего производства электроэнергии. Так, для сплава С-13 существуют парогенераторы, входящие в состав атомных энергетических установок (БРЕСТ-ОД-300, СВБР-10, СВБР-75/100).

Использование этого решения может позволить получить с каждой тонны выплавляемой стали, с учетом КПД паротурбинного цикла 40 %, около 5,5 кВт·ч электроэнергии. Во время плавки стали в 180-тонной ДСП можно вырабатывать около 1 МВт·ч электроэнергии.

Таким образом, замена воды в охлаждаемых панелях дуговой сталеплавильной печи на предлагаемые теплоносители может позволить получить значительный энергосберегающий эффект – до 10 % общего потребления электроэнергии на производство электростали.

#### *Библиографический список*

1. <http://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/2011-world-crude-steel-production.html>
2. Казанцев В.И. Промышленные печи: Справочное руководство для расчета и проектирования. М.: Металлургия, 1975. 368 с.
3. Чечеткин А.В. Высокотемпературные теплоносители: учебник для вузов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 424 с.

### **К ВОПРОСУ О ПАРАМЕТРАХ ГИПЕРСНАРЯДНОГО РЕЖИМА КИПЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*Стариков Е.В.  
УрФУ*

Одним из важнейших направлений экономии топливно-энергетических ресурсов наряду с повышением эффективности теплопередающих и теплогенерирующих установок является разработка технологий использования низкопотенциальной энергии.

Одним из видов энергосберегающих мероприятий может служить использование низкопотенциальной тепловой энергии вторичных источников, например сбросных стоков с температурой 80-120 °С. Помимо известных способов преобразования (тепловые насосы, термоэлектрические установки и т. д.), в настоящее время разрабатываются другие методы использования тепловой энергии. Заслуживает внимания так называемый термомеханический метод преобразования, в основе которого лежит механизм образования паровых снарядов в узких вертикальных каналах с последующим преобразованием их энергии в механическую энергию или другие виды энергии.

В различных областях современной техники осуществляется движение теплоносителя и тепломассоперенос в условиях парообразования в стесненных условиях. В сравнении с широко распространенными в энергетике, холодильной технике, пищевой и химической технологии процессами парообразования в свободных объемах процессы парообразования в стесненных условиях связаны с тем, что зарождение, развитие и движение элементов паровой фазы в ряде случаев происходят в условиях спонтанного возникновения снарядного режима кипения (минуя фазу пузырькового кипения), когда размер парового снаряда существенно превосходит диаметр канала – гиперснарядного режима парообразования.

Особый интерес представляет изучение упомянутых процессов в связи с созданием новых эффективных систем перекачивания жидкостей без использования вращающихся элементов с целью повышения надежности и срока службы оборудования. В более ранних работах было рассмотрено влияние ряда параметров на гиперснарядный режим парообразования в стесненных условиях, таких как внутренний диаметр канала, в котором происходит кипение, физические параметры кипящей жидкости, уровень подводимой тепловой энергии [2, 3]. Однако это далеко не все параметры, влияющие на гиперснарядный режим кипения в вертикальных обогреваемых каналах